

甜高粱茎秆生产燃料乙醇的研究

金花¹, 侯霖¹, 刘一清¹, 陆国军¹, 陆军¹, 朴敬惠¹, 古方成¹, 李洪来², 樊孝印², 高雷²

(1. 吉林省轻工业设计研究院, 吉林 长春 130021; 2. 吉林沱牌农产品开发有限公司, 吉林 吉林 132101)

摘要: 对甜高粱茎秆原料生产燃料乙醇的工艺条件、残渣综合利用等进行了研究, 确定了甜高粱茎秆汁液发酵生产燃料乙醇的最佳工艺条件: 高粱汁锤度为 20°Bx(糖度 17.8%)、接种量为 10%、pH 值 4.5、发酵时间 48 h, 发酵醪的酒精浓度可达 10.2% 以上, 残糖 1% 以下。

关键词: 燃料乙醇; 甜高粱茎秆; 发酵

中图分类号: TS262.2; TS261.4; TS261.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-9286(2009)07-0017-04

Study of Fuel Ethanol Production by Sweet Sorghum Stalk

JIN Hua¹, HOU Lin¹, LIU Yi-qing¹, LU Guo-jun¹, LU Jun¹, PIAO Jing-hui¹,

GU Fang-cheng¹, LI Hong-lai², FAN Xiao-yin², and GAO Lei²

(1. Jilin Provincial Light Industry Design & Research Institute, Changchun, Jilin 130021;

2. Jilin Tuopai Agricultural Products Development Co.Ltd., Jilin, Jilin 132101, China)

Abstract: The technical conditions of fuel ethanol production by sweet sorghum stalk and the comprehensive use of the production residue were studied. Besides, the optimum technical conditions of fuel ethanol production by sweet sorghum stalk juice fermentation were determined as follows: the brix of sorghum stalk juice as 20° Bx (sugar content was 17.8%), 10% inoculation quantity, pH value was 4.5, and alcohol concentration could reach up to above 10.2% after 48 h fermentation with residual sugar content less than 1%.

Key words: fuel ethanol; sweet sorghum stalk; fermentation

能源危机是当今社会发展面临的巨大挑战之一, 中国人口众多, 以粮食作物为原料生产燃料乙醇, 必将受到粮食安全的威胁。国家发改委公布的可再生能源中长期发展规划到 2010 年, 中国的可再生能源在能源消费中的比重可望达到 10%, 2020 年的发展目标为 15%。在规划中提出非粮燃料乙醇为主的发展政策, 而且明确了受粮食产量和耕地资源制约, 今后主要鼓励以甜高粱茎秆、薯类作物等非粮生物质为原料的燃料乙醇生产。目前, 我国以粮食为原料的燃料乙醇产量可达到 150 万 t, 从 2007 年开始, 为稳定粮食价格和粮食安全, 以玉米为原料的燃料乙醇不再新批项目。2007 年下半年开始, 全球农产品价格大幅度上涨, 在国内因粮食价格的“恢复性上涨”等因素, 物价水平已被推高至 10 余年来的新高, 因此, 减少用粮食生产燃料乙醇, 加大非粮乙醇生产成为我国燃料乙醇发展的方向。

利用适合在盐碱地种植的可再生能源经济作物甜高粱茎秆中的糖汁生产燃料乙醇作为石油的代用品, 籽粒作为粮食, 榨汁后的残渣用于造纸或生物饲料用以饲养牛羊, 牛羊产生的粪使用以还田, 改善土壤的质量来种植

甜高粱。通过对甜高粱的加工与综合利用, 基本上不产生废弃物, 从而形成一个良性的循环体系, 不但提高了生产附加值, 而且降低了燃料乙醇生产成本。既能保证我国的能源安全和粮食安全, 又可以实现燃料乙醇的加工生产不与人争粮, 不与粮争地, 不与牲畜争饲料, 不与其他产业争原料, 同时还对促进农民增收, 加速产业化进程, 确保能源永续利用有着十分重要的意义^[1~3]。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 原料

醇甜 1 号: 种植于松源, 是国家“863 成果-醇甜系列”品种之一。

九甜梁二号: 吉林市农科院培育, 种植于吉林市。

吉甜四号、吉甜五号: 吉林省农科院培育, 种植于公主岭市。

1.1.2 菌种

本试验对 4 株酵母菌株进行了筛选, 选择酒精发酵能力强的酵母作为试验菌株。

基金项目 科技部农业科技成果转化项目(2008GB2B100071), 吉林省科技计划支撑项目(20080226)。

收稿日期: 2009-05-05

作者简介 金花(1968-), 女, 硕士研究生, 研究员, 一直从事生物质能源的研究工作, 发表论文 10 余篇。

1.1.3 酶制剂

糖化酶:江苏宏达酶制剂厂,酶活力 100000 U/mL。

液化酶:NOVO 公司生产,酶活力 35000 U/mL。

1.1.4 主要设备及仪器

HH.B11.500 型电热恒温培养箱(型号:HH.B11.500;功率:600 W);高压灭菌锅(型号:CRDX-280;功率:2 kW;电压:AC220V);往复式摇床;酒精计(标准温度 20 °C、上海医用仪表厂);三辊式压榨机(型号:T-305),产量:300 kg/d;YZ148×160 型压榨机,日处理甜高粱茎秆 9 t。

1.2 分析方法

1.2.1 酒精度的测定

取出 100 mL 成熟发酵液于蒸馏瓶中,加入 100 mL 蒸馏水,蒸馏出 100 mL 溶液,用酒精计(标温 20 °C)测酒精度。

1.2.2 还原糖测定

采用斐林试剂滴定法,取发酵液 10 mL 加入盛有斐林甲乙液各 5 mL 和水 20 mL 的三角瓶中,测定发酵液的残还糖含量。

2 结果与讨论

2.1 发酵条件

2.1.1 原料灭菌

灭菌的方法有加热灭菌和添加防腐剂两种,本试验采用加热灭菌法,使用高压灭菌锅对甜高粱茎秆汁液进行灭菌。

2.1.2 无机盐的选择

在发酵过程中添加营养盐可以改善酵母的生长环境,增加营养,达到促进发酵的目的。本实验选择无机氮 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 作为发酵试验的氮源^[4~5]。

2.1.3 反应器转速的控制

发酵器皿的转动主要目的是为了增加酵母菌与发酵原料间的接触面积,同时提供充足的溶解氧。转速过低,发酵时间延长,发酵不充分;转速过高,易使发酵产物酒精挥发,过高的溶解氧浓度影响发酵的进行,使酒精发酵失败,形成其他酸类产物等。本试验选定 150 r/min 为试验通风培养阶段的转速,发酵阶段转速选定为 100 r/min。

2.2 试验条件

试验条件选择不同的接种量、不同糖汁浓度、置于不同的温度条件下进行发酵。将盛有发酵液的 500 mL 三角瓶置于摇床中振荡发酵,温度控制在 30 °C,转速为 100 r/min。进行 12 h 通风培养,之后进行 48 h 厌氧发酵。发酵结束后测定发酵醪的酒精含量及残还原糖。

2.2.1 不同酵母菌种对高粱汁酒精发酵的影响^[6]

在相同的试验条件下,不同的菌株发酵力不同。本试验选用的 4 株酵母菌株,在锤度为 20 °Bx(糖浓度为 17.8 %)的甜高粱汁液中进行发酵试验,结果见图 1。

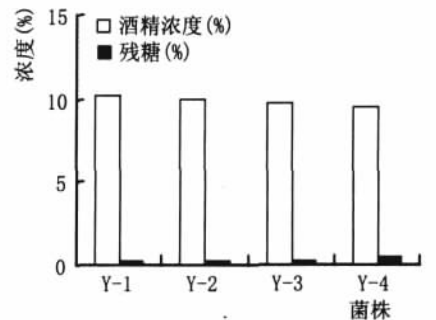


图 1 不同菌种对甜高粱汁发酵的影响

由图 1 可知,所选的 4 株酵母菌对高粱汁发酵的影响差异不大,Y-1 菌株产酒精优于其他菌种,当锤度为 20 °Bx(糖度 17.8 %)时,发酵液最终酒精浓度达 10.2 % vol,以下试验均以 Y-1 菌株作为试验菌株。

2.2.2 甜高粱汁的不同浓度对发酵的影响^[7]

发酵液的浓度对酵母菌株产酒精的速度和产酒精量都有影响。以 Y-1 作为试验菌株进行不同底物浓度的发酵试验,结果见图 2(每个数据为平行样的平均值)。

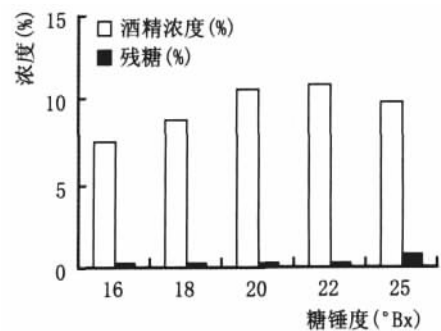


图 2 不同浓度的甜高粱汁对发酵的影响

由图 2 可知,锤度在 16~22 °Bx 之间,发酵液中的酒精含量随着底物糖浓度的增加而增加。而当锤度大于 25 °Bx 时,发酵液中的酒精含量下降。这是由于发酵液中糖汁锤度过高,其渗透压也高,酵母菌体细胞在高渗透压的发酵液中生长和代谢都会受到抑制,引起酵母细胞的损伤,从而使发酵液中酵母数量减少,死亡率高,影响最终发酵的效果。选择初始锤度为 20 °Bx。

2.2.3 不同接种量对甜高粱汁发酵的影响

在发酵中接种量至关重要,选用锤度为 20 °Bx(糖度 17.8 %)的发酵培养基,分别以 5 %、10 %、15 % 的接种量进行发酵试验,其结果见图 3。

接种量对乙醇发酵有较大影响。接种量过小时,由于酵母数量不足,酒精产量少,发酵不彻底,残糖高,并且酵

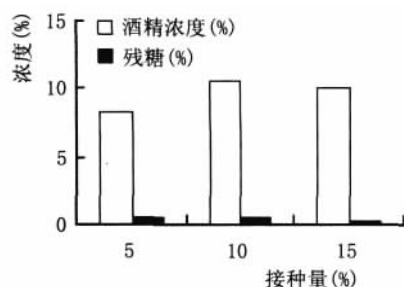


图3 不同接种量对甜高粱汁发酵的影响

母易老化,醪液易染杂菌;而接种量过大时,由于酵母的数量较多,需要更多的溶氧及糖,大量的酵母生长消耗了大部分糖分,虽然发酵时间可以缩短,但发酵液中的酒精含量会随接种量增大而下降。由试验结果可知,在接种量为10%时,酵母活性较高,发酵效果较好。因此,10%接种量为最佳条件。

2.2.4 不同初始 pH 值对甜高粱汁发酵的影响^[7]

pH 值在酵母的生长及发酵中都起着重要作用,pH 值主要通过影响菌株的生长条件、产酶能力及酶活力等来影响发酵。由于酵母菌发酵的最适 pH 值是 4.0~5.5,针对高粱汁发酵试验,在此范围内选择了 4 个不同的初始 pH 值,即 4.0、4.5、5.0 和 5.5;利用锤度 20°Bx(糖浓度 17.8%)的甜高粱汁进行发酵,结果见图 4(为平均值)。

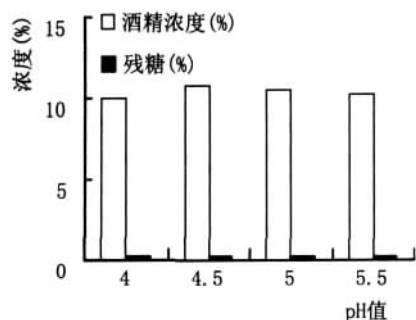


图4 不同初始 pH 值对甜高粱汁发酵的影响

从图 4 可看出,糖汁发酵初始 pH 值 4.0~5.0 时,酒精含量逐渐升高,当糖汁发酵初始 pH 值大于 5.0 时,酒精含量逐渐下降。因此,发酵初始 pH 值为 4.5 最好,而且甜高粱汁液的自然 pH 在 4.3 左右,不需调 pH,可降低成本。

2.2.5 添加糖化酶对甜高粱汁酒精发酵的影响

为了使酵母菌更好地利用甜高粱汁中的各种糖,进行了添加糖化酶的试验(每个数据为平行样的平均值),糖化酶的作用并不明显,甜高粱茎汁中不仅含有大量的蔗糖,还含有一定量的葡萄糖和果糖^[8],酵母菌可以先利用葡萄糖进行繁殖及提前进入发酵期,而汁液中的蔗糖则随着发酵的进行因酸度增大,蔗糖水解成葡萄糖进而被酵母利用。

糖的浓度低时,糖化酶作用的底物浓度较低,糖化酶的水解作用有限;但在高糖浓度下,底物浓度提高,糖化酶可以把部分底物双糖降解为单糖,促进了发酵的进行。此试验说明,可以根据甜高粱汁原料糖含量的不同,选择不同的工艺。在甜高粱汁锤度高于 22°Bx 时,加入糖化酶以促进双糖的水解,糖汁发酵的效果会更好。

2.2.6 防腐剂及冷冻法对甜高粱汁发酵的影响

在甜高粱汁液制取燃料乙醇的技术中,原料的贮藏问题尚未得到很好解决,原料的保存已成为制约该技术发展的瓶颈。只有解决了保藏问题,才能延长甜高粱汁制取乙醇的生产周期,提高设备利用率,使甜高粱汁液制取乙醇更具有经济性。

目前贮藏甜高粱茎秆的方法有将茎秆去叶切成短段冷藏、用塑料薄膜覆盖并充以二氧化硫贮藏等。而关于高粱汁贮存的研究报道不多,据国外报道:将高粱汁浓缩至 66°Bx 后就可以贮存较长时间,但该方法耗能大,很难在生产中应用;此外还有冷冻保藏法及加入防腐剂法^[9]。

根据食品防腐保鲜原理,本实验探讨了加入适量的苯甲酸钠对 20°Bx 的甜高粱汁酒精发酵的影响。对照组不加防腐剂,则 1 个月后糖汁霉变。试验组分别加入了 0.1%~0.2% 苯甲酸钠,冷藏 1 个月后进行发酵试验,结果见表 1。

表1 防腐剂对甜高粱汁发酵的影响

防腐剂加量 (%)	酒精含量 (%)	残糖 (%)	CO ₂ 的量 (g)
0.10	6.0	4.28	14
0.10	5.8	4.50	13
0.15	0		1
0.20	0		0

从表 1 结果可以看出,防腐剂对抑制微生物在甜高粱汁中的生长和繁殖有一定的效果,对甜高粱汁起到了保藏作用,茎秆汁液中加入 0.1% 以上苯甲酸钠,在室温下没有霉变,茎秆汁液至少可贮存 30 d。但是对添加苯甲酸钠贮存的甜高粱汁及对照组进行发酵试验,结果表明,加入了 0.1% 以上苯甲酸钠,虽然抑制了杂菌,但也抑制了酵母菌的生长繁殖,酒精发酵不能正常进行,故采用此方法保存甜高粱汁液不可行。

为了解决甜高粱汁的保藏问题,又对甜高粱汁液进行冷冻处理,在 -18℃ 的条件下保存 2 个月,解冻后进行酒精发酵试验(锤度 20°Bx),其他条件与上述试验相同,结果见图 5。

由图 5 结果可知,冷冻法不仅可以保存高粱汁,同时这种方法对可发酵性糖的成分没有影响,因此汁液解冻后可以正常进行酒精发酵;发酵结束时,冷冻与非冷冻样品的发酵液中酒精含量相差不大。为原料的保存提供了

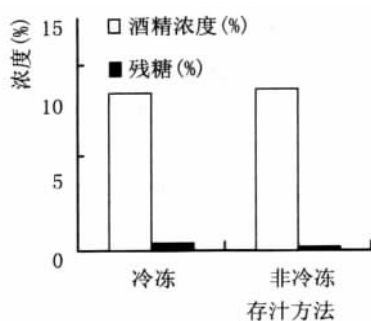


图5 冷冻对甜高粱汁发酵的影响

有效的途径。

通过以上的条件试验,确定了甜高粱汁液酒精发酵的最佳工艺条件:甜高粱汁锤度为20°Bx(糖度17.8%);接种量为10%;pH值4.5;发酵时间48h。发酵后汁液的酒精浓度可达10.2%以上,残糖1%以下。

2.3 残渣综合利用试验

国内现在用玉米生产燃料酒精的成本居高不下,要靠国家补贴。而甜高粱为原料的生产工艺不仅利用汁液进行发酵生产乙醇,还对残渣纤维进行综合利用,如生产纸板、粗饲料、预处理后进行乙醇发酵等,不但实现了茎秆的全价利用,而且降低了酒精生产成本,从而使整个生产过程成为循环型经济模式。

2.3.1 抄纸试验

取甜高粱榨汁后产生的残渣纤维,经过加碱蒸煮、筛选、洗涤、打浆后做手抄片,检测。具体操作如下:

取甜高粱渣1000g(绝干),NaOH 160g(NaOH以16%计),液比1:6,在实验室的蒸煮锅中蒸煮。110℃小放气,到180℃保温2h放锅。所得浆料经筛选、洗涤后打浆,打浆度40°SR,做手抄片^[10]。检测结果为:纸板的抗张指数为47.23 N m/g;撕裂指数4.79 mN·m²/g,可以看出,甜高粱茎秆在榨汁后产生的残渣纤维,经处理后所得浆料完全可以满足造纸的要求。副产品的该项利用,可大

大降低乙醇原料成本带来的风险。

2.3.2 残纤维渣作饲料

采取对残渣纤维进行处理或发酵,可生产粗饲料和乙醇,实现了茎秆的全价利用。

3 结论

由于甜高粱基质不同于淀粉基质(如玉米),本研究主要采用甜高粱的茎秆汁液为原料进行乙醇发酵试验研究,为甜高粱茎秆原料生产燃料乙醇的产业化推广提供了可靠的理论依据。

与传统淀粉质原料乙醇生产相比较,采用甜高粱茎秆为原料生产燃料乙醇及其综合利用,可以降低乙醇的生产成本100~700元,因此具有经济上的可行性。

参考文献:

- [1] 黎大爵.亟待开发的甜高粱酒精燃料[J].中国农业科技导报,2003,(4):48-51.
- [2] 黎大爵.甜高粱可持续农业生态系统研究[J].中国农业科学,2002,(8):1021-1024.
- [3] 王艳秋,朱翠云,卢峰,等.甜高粱用途及发展前景[J].杂粮作物,2004,24(1):55-56.
- [4] 张恩铭,刘荣厚,孙清,等.营养盐对甜高粱茎秆汁液酒精发酵的影响[J].农机研究,2005,(6):175-177.
- [5] 吕欣,段作营,毛忠贵.氮源与无机盐对高浓度酒精发酵的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2003,(4):41.
- [6] 曹俊峰,姚培鑫,张小魁.发酵甜高粱汁耐高浓度酒精酵母菌的选育[J].西北植物学报,2001,21(5):1009-1012.
- [7] 章克昌.酒精与蒸馏酒工艺学[M].北京:中国轻工业出版社,1995.162-164.
- [8] 宁喜斌,马志乱,李达.甜高粱茎汁成分的测定[J].沈阳农业大学学报,1995,(3):45-48.
- [9] 赵立欣,张艳丽,沈丰菊.能源作物甜高粱及其可供应性研究[J].可再生能源,2005,(4):37-40.
- [10] 张志诚,等.制浆造纸手册第三分册碱法制浆[M].北京:中国轻工业出版社,1988.

酿酒科技杂志社邮购书刊

书刊名	邮购价	书刊名	邮购价
《酿酒科技精选(1980~1985)》	20元/册	《酿酒科技》2007年合订本	190元/套
《酿酒科技》2000年合订本	65元/册	《酿酒科技》2008年合订本	200元/套
《酿酒科技》2001年合订本	70元/册	《酿酒科技》2009年(月刊)	180元/年
《酿酒科技》2002年合订本	75元/册	《世界蒸馏酒的风味》	6元/册
《酿酒科技》2003年合订本	80元/册	《中国酒曲》	35元/册
《酿酒科技》2004年合订本	80元/册	《酿酒科技》世纪光盘(1980~2000年)	380元/套
《酿酒科技》2005年合订本	120元/套	《白酒的品评》	26.5元/册
《酿酒科技》2006年合订本	150元/套	《中国名酒鉴赏》	64元/册

需订阅以上书刊者,请直接汇款到本社邮购。地址:贵州省贵阳市沙冲中路58号(550007);电话:(0851)5796163;传真:(0851)5776394;联系人:吴萍。